

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

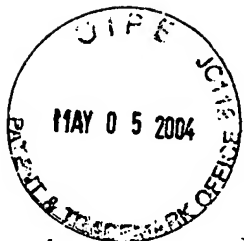
Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**





IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of:  
**Lorand D'Ouvenou**

Serial No.: 10/816,961

Filing Date: April 2, 2004

Title: **Actuator Unit Comprising At Least  
Two Actuator Elements**

§  
§ Group Art Unit: **unknown**  
§  
§ Examiner: **unknown**  
§  
§  
§ Attny. Docket No. **071308.0545**  
§ Client Ref.: **2001P10590WOUS**  
§

Mail Stop  
Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

CERTIFICATE OF MAILING VIA EXPRESS MAIL

PURSUANT TO 37 C.F.R. § 1.10, I HEREBY CERTIFY THAT I HAVE INFORMATION AND A REASONABLE BASIS FOR BELIEF THAT THIS CORRESPONDENCE WILL BE DEPOSITED WITH THE U.S. POSTAL SERVICE AS EXPRESS MAIL POST OFFICE TO ADDRESSEE, ON THE DATE BELOW, AND IS ADDRESSED TO:

MAIL STOP  
COMMISSIONER FOR PATENTS  
P.O. BOX 1450  
ALEXANDRIA, VA 22313-1450

EXPRESS MAIL LABEL: EV449863784US  
DATE OF MAILING: MAY 5, 2004

SUBMISSION OF PRIORITY DOCUMENT

Dear Sir:

We enclose herewith a certified copy of German patent application 101 48 603.0 which is the priority document for the above-referenced patent application.

Respectfully submitted,  
BAKER BOTTS L.L.P. (023640)

Date: May 5, 2004

By:   
Andreas H. Grubert  
(Limited recognition 37 C.F.R. §10.9)  
One Shell Plaza  
910 Louisiana Street  
Houston, Texas 77002-4995  
Telephone: 713.229.1964  
Facsimile: 713.229.7764  
AGENT FOR APPLICANTS



# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 101 48 603.0

**Anmeldetag:** 02. Oktober 2001

**Anmelder/Inhaber:** Siemens Aktiengesellschaft, 80333 München/DE

**Bezeichnung:** Aktoreinheit mit wenigstens zwei Aktorelementen

**IPC:** H 02 N 2/02

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 23. April 2004  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
Der Präsident  
Im Auftrag

**Agurke**



## Beschreibung

Aktoreinheit mit wenigstens zwei Aktorelementen

5 Die Erfindung betrifft eine Aktoreinheit mit wenigstens zwei Aktorelementen, insbesondere als Stellantrieb für ein Kraftstoff-Einspritzventil einer Brennkraftmaschine, gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

10 Bei der Kraftstoffversorgung von Brennkraftmaschinen werden zunehmend Speichereinspritzsysteme eingesetzt, bei denen sehr hohe Einspritzdrücke und hohe Schaltgeschwindigkeiten der Zumesseinrichtungen, der sogenannten Injektoren, eingesetzt werden. Bei derartigen Speichereinspritzsystemen wird Kraft-  
15 stoff mit Hilfe von Kraftstoffinjektoren in die Brennräume der Brennkraftmaschine eingespritzt.

Der Kraftstoffinjektor weist im allgemeinen eine Einspritzdüse auf, die hydraulisch von einem Servoventil geöffnet und  
20 geschlossen wird, um den zeitlichen Verlauf des Einspritzvorgangs in die Brennkammer exakt festzulegen. Das Servoventil wird dabei von einem elektrisch angesteuerten Aktor betätigt, wobei sich vor allem der Einsatz von piezoelektrisch betriebenen Aktoren zum Erzielen ausreichend kurzer Schaltzeiten als vorteilhaft erwiesen hat. In einem solchem piezoelektrisch betriebenen Aktor wird durch Anlegen einer elektrischen  
25 Spannung eine Längenänderung eines Piezostapels ausgelöst, die - ggf. über eine Hebelvorrichtung - auf das Servoventil übertragen wird. Dieses öffnet und schließt wiederum die Einspritzdüse.  
30

Die äußerst schnell schaltenden piezoelektrischen Aktoren mit Schaltzeiten im Bereich von weniger als 200  $\mu$ s und den damit verbundenen hohen Beschleunigungen sind jedoch geeignet,  
35 hochfrequente, mechanische Schwingungen anzuregen und in das den Piezoaktor umgebende Gehäuse einzuleiten. Diese Vibrationen sind spektral sehr breitbandig und erzeugen ein hohes Maß

an Körperschall bis in einen hochfrequentigen Bereich. Die Körperschallschwingungen pflanzen sich entlang des Injektor-  
körpers fort und werden in den Zylinderkopf der Brennkraftma-  
schine eingeleitet. Diese mechanischen Schwingungen auf der  
5 Oberfläche des Injektorkörpers und des Zylinderkopfes führen  
jedoch zu erheblichen Störgeräuschen, die den Fahrkomfort ne-  
gativ beeinflussen können. Da Verbrennungsmotoren immer lei-  
ser werden, ist ein Einspritzventil, dessen Geräuschentwick-  
lung das Gesamtgeräusch eines Motors hörbar überlagert, aus  
10 Komfortgründen nicht akzeptabel.

Um die Geräuschemissionen von elektrisch betätigten Aktoren  
zu vermindern, können diese mit zusätzlichen Abdeckhauben  
versehen werden. Eine derartige geräuschgedämpfte Aktorein-  
15 heit mit einem Piezoelement ist beispielsweise aus der deut-  
schen Offenlegungsschrift 199 46 965 A1 bekannt. Allerdings  
sind derartige passive Schalldämpfungsmaßnahmen bei den be-  
schriebenen Körperschallanregungen nur von sehr begrenzter  
Wirksamkeit.

20 Ein Ziel der Erfindung besteht darin, eine Aktoreinheit, ins-  
besondere einen Stellantrieb für ein Kraftstoffeinspritzven-  
til einer Brennkraftmaschine zur Verfügung zu stellen, der  
die Nachteile im Stand der Technik vermeidet, und eine mini-  
25 male Geräuschemission aufweist.

Dieses Ziel der Erfindung wird mit einer Aktoreinheit gemäß  
dem unabhängigen Patentanspruch 1 erreicht. Merkmale vorteil-  
hafter Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den ab-  
30 hängigen Ansprüchen.

Um dieses Ziel der Erfindung zu erreichen, umfasst eine Akto-  
reinheit wenigstens zwei Aktorelemente, die bei einer elekt-  
rischen Ansteuerung jeweils eine Längenänderung erfahren, und  
35 die über eine Wirkverbindung mit einer Stelleinrichtung ver-  
bunden sind. Die Aktoreinheit umfasst zudem ein die Aktorele-



mente umgebendes Aktorgehäuse, das jeweils form- und/oder kraftschlüssig mit den Aktorelementen verbunden ist.

5 Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass eine vektorielle Summe der Massenimpulse der wenigstens zwei Aktorelemente zu jedem Zeitpunkt näherungsweise gleich Null ist. D.h. die Produkte aus den Massen und den Geschwindigkeiten der beiden Aktorelemente summieren sich vektoriell insgesamt zu Null.

10 Diese erfindungsgemäße Aktoreinheit weist den Vorteil einer signifikant reduzierten Schallabstrahlung aus. Das normalerweise nur in einfacher Ausführung vorhandene Aktorelement ist um ein zweites Aktorelement ergänzt, das in seiner Bewegungsrichtung umgekehrt zum ersten Aktorelement montiert ist und  
15 bei einer elektrischen Ansteuerung in entgegengesetzter Richtung ausgelenkt wird. Dadurch ist die nach außen resultierende Vibrationsenergie der Aktoreinheit im Idealfall annähernd Null. Zwar wird dieser Idealfall in der Realität nicht erreicht, jedoch genügen die damit erzielten Verbesserungen, um  
20 eine deutliche Reduktion der Körperschallanregung zu erreichen, insbesondere in den besonders störenden Frequenzbereichen zwischen 4 und 8 kHz.

25 Eine erste Ausführungsform der erfindungsgemäßen Aktoreinheit sieht vor, dass ein erstes und ein zweites Aktorelement jeweils mit sich schneidenden Längsachsen gegenüberliegend angeordnet sind. Diese Ausführungsform weist insbesondere den Vorteil auf, dass sich die beiden Aktorelemente bei gleicher elektrischer Ansteuerung in ihren Schallabstrahlungen gegenseitig dämpfen. Die Aktorelemente können bspw. in V-Form angeordnet sein, was hinsichtlich einer kompakten Bauform von Vorteil sein kann. Sofern ausreichend Einbauraum zur Verfügung steht, können die Aktoren auch gegenüber liegend angeordnet sein.

35

Eine weitere Ausführungsform der erfindungsgemäßen Aktoreinheit sieht vor, dass eine vektorielle Summe der Längsbewegun-

gen der wenigstens zwei Aktorelemente zu jedem Zeitpunkt näherungsweise gleich Null ist. Diese Ausführungsform weist insbesondere den Vorteil auf, dass sich die beiden Aktorelemente bei gleicher elektrischer Ansteuerung in ihren  
5 Schallabstrahlungen gegenseitig dämpfen.

Eine weitere Ausführungsform der erfindungsgemäßen Aktoreinheit sieht vor, dass ein erstes und ein zweites Aktorelement jeweils mit deckungsgleichen Längsachsen gegenüberliegend angeordnet sind. Diese Ausführungsform weist insbesondere den  
10 Vorteil auf, dass sich die beiden Aktorelemente bei gleicher elektrischer Ansteuerung in ihren Schallabstrahlungen gegenseitig dämpfen.

15 Auf diese Weise können trotz doppeltem Energieeintrag in das System erhebliche Verbesserungen hinsichtlich des nach außen abgestrahlten Luft- und Körperschalls der Aktoreinheit erzielt werden. Ein weiterer Vorteil der erfindungsgemäßen Aktoreinheit liegt darin, dass eine unveränderte Ansteuerelektronik zum Einsatz kommen kann.  
20

Bei einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist jeweils eine erste bzw. zweite Stirnseite des ersten bzw. zweiten Aktorelements im Aktorgehäuse abgestützt. Zudem wirkt jeweils  
25 eine dritte bzw. vierte Stirnseite der Aktorelemente auf ein Übertragungsmedium ein. Bei dieser weiteren Ausführungsform der Erfindung ist insbesondere von Vorteil, dass die Bewegungsenergien beider Aktorelemente in vollem Umfang zur Ansteuerung einer Stelleinrichtung genutzt werden können. Das  
30 Übertragungsmedium kann vorzugsweise Teil eines hydraulischen Übersetzers sein und auf die Stelleinrichtung einwirken. Daraus ergibt sich insbesondere der Vorteil einer sehr exakten und verzögerungsfreien Übertragbarkeit der Längenänderungen der beiden Aktorelemente auf die gewünschte Längsbewegung der  
35 Stelleinrichtung. Im Idealfall kann sogar ein ansonsten oftmals notwendiger Hebelübersetzer entfallen, der eine Übersetzung der oftmals nur geringen Auslenkungen eines Aktorele-

ments auf die notwendige Stellbewegung eines Servoventils bewirkt.

5      Gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist die  
Richtung der axialen Bewegungen des ersten und zweiten Aktorelements jeweils im Wesentlichen senkrecht zur Bewegungsrichtung der Stelleinrichtung orientiert. Die Längsbewegungen der beiden Aktorelemente verlaufen in diesem Fall in entgegengesetzter Richtung und führen dazu, dass sich die von ihnen ausgehenden Massenimpulse in ihrer Wirkung weitgehend aufheben. Es verbleibt lediglich ein resultierender Massenimpuls, der durch die bewegte Masse des Übertragungsmediums ausgelöst wird. Dieser in senkrechter Richtung zur Längsbewegungsrichtung der Aktorelemente wirkende Restimpuls ist je-  
10      denfalls deutlich geringer als bei einem Injektor bekannter Bauart. Somit werden nur sehr geringe Vibrationen vom Aktorelement nach außen abgegeben. Ein weiterer Vorteil dieser Ausführungsform liegt darin begründet, dass durch die beiden parallel arbeitenden Aktorelemente gegenüber der Verwendung nur eines Aktorelements kein erhöhter Energiebedarf für die Geräuschdämpfung verbunden ist. Gegebenenfalls können sogar Aktorelemente kürzerer Bauart verwendet werden, was vielfältige Vorteile hinsichtlich des Einbaus der Aktoreinheit in beengten Platzverhältnissen mit sich bringen kann.

25      Gemäß einer alternativen Ausführungsform der Erfindung ist jeweils die erste bzw. die zweite Stirnseite des ersten bzw. zweiten Aktorelements im Aktorgehäuse abgestützt. Zudem wirkt gemäß dieser alternativen Ausführungsform der Erfindung die  
30      dritte Stirnseite des ersten Aktorelements direkt oder indirekt auf die Stelleinrichtung ein. Diese Ausführungsform weist den Vorteil einer einfachen und kompakten Bauweise auf, die nur wenige konstruktive Änderungen gegenüber einer herkömmlichen Bauart notwendig macht.

35

Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung sind die Richtungen der axialen Bewegungen des ersten und zweiten Aktorelements

sowie die Bewegungsrichtung der Stelleinrichtung jeweils achsparallel zueinander orientiert, womit der Vorteil eines annähernde idealen Massenausgleichs verbunden ist, der zur deutlichen Verringerung der Schallabstrahlung der Aktoreinheit nach außen führt. Als Aktorelemente kommen beispielsweise jeweils piezoelektrische Einheiten oder magnetostruktive Aktorelemente in Frage.

Die erfindungsgemäße Aktoreinheit eignet sich insbesondere als Stellantrieb eines Kraftstoffeinspritzventils.

Zusammenfassend ergeben sich die folgenden Aspekte der Erfindung. Durch die zusätzliche Montage eines zweiten Piezoelements in einer vorhandenen Aktoreinheit, welche sich genau entgegengesetzt zum eigentlichen Antriebspiezo bewegt, lassen sich Schwingungen, die an den Motorblock weitergeleitet und abgestrahlt werden, deutlich reduzieren, so dass sich insgesamt ein angenehmeres Klangbild des Einspritzventils allein, wie auch im Verbund mit dem Motorblock ergibt.

Das Prinzip, das bei der erfindungsgemäßen Aktoreinheit angewendet wird, beruht auf dem Prinzip der Schallauslöschung durch Gegenschall. Auf den schallverursachenden Piezo wird ein weiterer identischer Piezo, parallel zum ersten geschaltet, aber in seiner Bewegungsrichtung umgekehrt, montiert. So arbeiten beide Aktorelemente (z. B. Piezoelemente) in entgegengesetzter Richtung, und die nach außen resultierende Vibrationsenergie ist im Idealfall Null. Vorteilhaft ist dabei die unveränderte Einsetzbarkeit der Ansteuerelektronik. Zudem muss bei Änderungen der Ansteuerelektronik die Konstruktion des Einspritzventils nicht modifiziert werden. Das Verfahren lässt sich auch als eine Zusatzmaßnahme zu anderen Verfahren verwenden, um so eine weitere Schallreduktion zu erreichen. Ebenso stellt die konstruktive Umsetzung keine große Anforderung hinsichtlich Toleranz oder Aufwand.

Ein weiterer Vorteil der erfindungsgemäßen Aktoreinheit mit ihren wenigstens zwei Aktorelementen liegt darin, dass wahlweise nur ein Aktor angesteuert werden kann, während der andere Aktor in Ruhe bleibt. Auf diese Weise kann mit hoher Steuerungsgenauigkeit ein definierter Teilhub eines Einspritzventils oder dgl. angesteuert werden. Aus Kostengründen werden piezobetriebene Einspritzventile normalerweise ohne eine Regelung betrieben. D.h. die Steuerung für die Piezoaktoren ist nicht in der Lage, zu erkennen, ob die Auslenkung exakt der Signalstärke des Steuersignals entspricht. Aus diesem Grund sind unterschiedliche Aktorhübe relativ schwierig einzuhalten. Lediglich der Maximalhub kann mit hinreichender Genauigkeit definiert werden. Bei einer Aktoreinheit mit zwei Aktorelementen kann hingegen auch ein Maximalhub nur eines Aktorelements mit großer Genauigkeit angesteuert werden und führt zu einem Hub, der exakt dem halben Wert des maximal möglichen Hubs beider Aktorelemente entspricht.

Die Erfindung wird nun anhand von Ausführungsformen mit Bezug auf die beiliegenden Figuren näher erläutert. Es zeigen:

- Figur 1 eine erste Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Aktoreinheit in schematischer Schnittansicht,
- Figur 2 eine alternative Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Aktoreinheit in schematischer Schnittansicht,
- Figur 3 eine weitere alternative Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Aktoreinheit in schematischer Schnittansicht,
- Figur 4 eine Aktoreinheit gemäß bekanntem Stand der Technik,
- Figur 5 ein Schalldruckdiagramm mit zwei beispielhaften Messkurven und
- Figur 6 ein weiteres Diagramm mit drei beispielhaften Lautheitskurven.

Figur 4 zeigt eine Aktoreinheit, wie sie aus dem Stand der Technik bekannt ist. Hierbei wird eine Stelleinrichtung 6, beispielsweise ein Stellglied eines Servoventils, über einen Hebelübersetzer 14 mittels eines Aktorelements 8 ausgelenkt. Dieses Aktorelement 8 kann beispielsweise ein Piezostack oder dergleichen sein, der mit einer ersten Stirnseite 82 sich gegen eine entsprechende Stirnseite eines Aktorgehäuses 4 abstützt. Eine der ersten Stirnseite gegenüberliegende weitere Stirnseite 83 erfährt je nach angelegter elektrischer Spannung eine Positionsänderung in axialer Richtung des Aktorelements 8, was durch den Doppelpfeil 81 entlang der Längsachse des Aktorelements 8 angedeutet ist.

Zum Ansteuern des Aktorelements 8 sind elektrische Anschlüsse 18 vorgesehen, die mit den Einzelelementen des Aktorelements 8 in elektrischer Verbindung stehen und die aus der ersten Stirnseite 82 herausragen. Diese elektrischen Anschlüsse 18 werden mit einer Spannung belegt, die eine Längsdehnung des Aktorelements 8 bewirkt. Die elektrische Verbindung zu einer Ansteuerelektronik wird über den Stecker 22 hergestellt.

Die in Figur 4 schematisch dargestellte Aktoreinheit entsprechend dem Stand der Technik verursacht erhebliche Schallemissionen aufgrund der Längsbewegungen des Aktorelements 8, die über das Aktorgehäuse 4 sowie das mit diesem fest verbundene Injektorgehäuse 12 als Körperschall in die Brennkraftmaschine eingeleitet werden.

Figur 1 zeigt in einer schematischen Schnittdarstellung eine erste Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Aktoreinheit 2, die durch zwei gegensinnig arbeitende Aktorelemente 8, 9 charakterisiert ist. Ein erstes Aktorelement 8 wirkt mit einer ersten Stirnseite 82 auf ein Übertragungsmedium 101 eines hydraulischen Übersetzers 10. Ein zweites Aktorelement 9 wirkt mit einer zweiten Stirnseite 92 ebenfalls auf das Übertragungsmedium 101. Erstes und zweites Aktorelement 8, 9 sind

so gegenüberliegend angeordnet, dass eine erste Längsachse 81 des ersten Aktorelements 8 deckungsgleich zu einer zweiten Längsachse 91 des zweiten Aktorelements 9 angeordnet ist. Eine dritte Stirnseite 83 des ersten Aktorelements 8 stützt sich im Aktorgehäuse 4 ab. Eine vierte Stirnseite 93 des zweiten Aktorelements 9 stützt sich ebenfalls im Aktorgehäuse 4 ab. Bei einer elektrischen Ansteuerung erfahren das erste bzw. zweite Aktorelement 8 bzw. 9 jeweils eine gegensinnige Auslenkung, so dass eine vektorielle Summe der Längsbewegungen der zwei Aktorelemente 8, 9 zu jedem Zeitpunkt näherungsweise gleich Null ist.

Die gegensinnigen Auslenkungen entlang der ersten bzw. zweiten Längsachse 81, 91 bewirken über das Übertragungsmedium eine Längsbewegungsrichtung 61 der Stelleinrichtung 6, die zur Bewegungsrichtung der Aktorelemente 8, 9 senkrecht liegt. Die Stelleinrichtung 6 kann beispielsweise ein Stellkolben eines Servoventils eines Kraftstoffinjektors sein, der eine Öffnung und Schließung einer Düsenadel des Kraftstoffinjektors bewirkt.

Das Übertragungsmedium 101 des hydraulischen Übersetzers 10 kann beispielsweise ein geeignetes Hydrauliköl, beispielsweise auf Silikonbasis, oder dergleichen sein. Die Aktorelemente 8, 9 sind durch geeignete bekannte Maßnahmen gegen das Übertragungsmedium 101 abzudichten.

Figur 2 zeigt in einer weiteren schematischen Schnittdarstellung eine alternative Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Aktoreinheit 2. Hierbei sind erste Längsachse 81 des ersten Aktorelements 8, zweite Längsachse 91 des zweiten Aktorelements 9 und Bewegungsrichtung 61 der Stelleinrichtung 6 jeweils achsparallel zueinander orientiert. Die Auslenkung der Stelleinrichtung 6 wird über den Hebelübersetzer 14 im wesentlichen durch die Auslenkung des ersten Aktorelements 8 entlang seiner ersten Längsachse 81 bewirkt, indem seine dritte Stirnseite 83 auf den Hebelübersetzer 14 einwirkt. Die

erste Stirnseite 82 des ersten Aktorelements 8 ist unbeweglich im Aktorgehäuse 4 abgestützt. Die zweite Stirnseite 92 des zweiten Aktorelements 9 steht über zwei Abstützungen 16 mit der ersten Stirnseite 82 des ersten Aktorelements 8 in fester Verbindung. In die Abstützungen 16 sind gleichzeitig die elektrischen Anschlüsse der beiden Aktorelemente 8, 9 integriert, die über elektrische Anschlüsse 18 mit einer Spannung beaufschlagt werden.

Bei einer Spannungsbeaufschlagung bewegen sich die dritten und vierten Stirnseiten 83, 93 der Aktorelemente 8, 9 jeweils um einen gleichen Betrag in entgegengesetzte Richtung. Auf diese Weise wird ein entstehender Massenimpuls durch die Auslenkung nur eines Aktorelements (z. B. 8) durch das jeweils zweite Aktorelement (z. B. 9) weitgehend bedämpft. Eine Körperschallanregung kann auf diese Weise ebenfalls stark reduziert werden. An einer der vierten Stirnseite 93 des zweiten Aktorelements 9 zugewandten Oberseite des Aktorgehäuses 4 ist weiterhin eine Verkleidung 20 vorgesehen, die das zweite Aktorelement 9 nach außen hin abschließt und die zudem eine passive Bedämpfung des Aktorgehäuses 4 bewirkt.

Figur 3 zeigt in einer schematischen Schnittdarstellung eine dritte alternative Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Aktoreinheit 2. Hierbei sind erste Längsachse 81 des ersten Aktorelements 8, zweite Längsachse 91 des zweiten Aktorelements 9 und eine Bewegungsrichtung einer Hubübertragungsstange 15 sowie eines Ventilpilzes 17 eines hydraulischen Servoventils jeweils achsparallel zueinander orientiert. Die Auslenkung der Hubübertragungsstange 15 wird über den Hebelübersetzer 14 zu gleichen Teilen durch die Auslenkungen der Aktorelemente 8, 9 entlang ihrer Längsachsen 81, 91 bewirkt. Die erste Stirnseite 82 des ersten Aktorelements 8 sowie die zweite Stirnseite 92 des zweiten Aktorelements 9 sind jeweils unbeweglich im Aktorgehäuse 4 abgestützt.



Bei einer Spannungsbeaufschlagung bewegen sich die dritten und vierten Stirnseiten 83, 93 der Aktorelemente 8, 9 jeweils um einen gleichen Betrag in entgegengesetzte Richtung. Auf diese Weise wird ein entstehender Massenimpuls durch die Auslenkung nur eines Aktorelements (z. B. 8) durch das jeweils zweite Aktorelement (z. B. 9) weitgehend bedämpft. Eine Körperschallanregung kann auf diese Weise ebenfalls stark reduziert werden.

Figur 5 zeigt in beispielhaften Messkurven 30, 32 einen Vergleich eines herkömmlichen Injektors (entsprechend Figur 4) mit einem optimierten Injektor entsprechend der zweiten Ausführungsform der Erfindung (entsprechend Figur 2). Derzeit werden Einspritzventile bzw. deren Piezoaktoren mit einer typischen Energie von ca. 35 mJ bis ca. 70 mJ betrieben. Um dieselbe Bewegungsenergie in die entgegengesetzte Richtung zur Schallauslöschung aufzubringen, benötigt ein zweites Piezoelement noch einmal dieselbe Energiemenge.

In der in Figur 5 dargestellten Messung wurden exemplarisch ein Injektor mit 48,5 mJ und der optimierte Injektor entsprechend mit 97 mJ betrieben. Trotz deutlich erhöhten Energieeintrag lässt sich eine signifikante Schallemissionsreduktion im relevanten Frequenzbereich von ca. 4 kHz bis 8 kHz nachweisen.

Die erste Schalldruckkurve 30 charakterisiert den Schalldruck eines herkömmlichen Injektors (vgl. Figur 3) in Dezibel über eine Frequenz zwischen 500 Hz und 16 kHz. Die zweite Schalldruckkurve 32 verdeutlicht den Schalldruckverlauf der entsprechend Figur 2 optimierten Aktoreinheit. Der Doppelpiezo erhöht zwar den Pegel bei der 8 kHz-Terz, senkt ihn jedoch bei der 5 kHz- und 6,3 kHz-Terz deutlich ab, was insgesamt zu einer Gesamtpegelreduktion von bis zu 4 dB (A) führt.

Unter Berücksichtigung psychoakustischer Effekte ist die Lautheit als genormte Messgröße am aussagefähigsten bzgl. Klangcharakter und Lästigkeitsempfindung.

- 5    Figur 6 zeigt daher in drei verschiedenen Lautheitskurven 40, 42, 44 die Einflüsse verschiedener Ausführungsformen eines Piezoaktors auf die empfundene Lautheit.

Die erste Lautheitskurve 40 kennzeichnet ein Einspritzventil  
10    herkömmlicher Bauart. Die Betonung im Bereich 4 kHz bis 6 kHz ist dabei offensichtlich. Im Vergleich hierzu wurden Messungen an einem Einspritzventil mit doppeltem Piezo durchgeführt, wobei die zweite Lautheitskurve einen Injektor ohne Kunststoffumspritzung (Verkleidung 20 in Fig. 2) und die  
15    dritte Lautheitskurve 44 denselben Injektor mit leichter Folienverkleidung darstellt. Diese Verkleidung wurde gewählt, da die Kunststoffumspritzung ebenfalls eine geringe Dämpfung der direkt abgestrahlten Schallwellen der bewegten Fläche des Piezos bewirkt.

20

An der Lautheitsuntersuchung wird deutlich, dass das Minimum bei der 8 kHz-Terz beim herkömmlichen Injektor nahezu keine Rolle spielt und innerhalb dieser Terz weder Optimierung noch Verschlechterung eine gravierende Veränderung bewirken würde,  
25    da die 6,3 kHz-Terz diese Optimierung nahezu vollständig verdeckt. Somit stellt der deutlich höher Pegel bei dieser Terz bei dem Injektor mit dem Doppelpiezo keine negative Beeinflussung des Klangbildes dar.

## Patentansprüche

1. Aktoreinheit (2) mit wenigstens zwei Aktorelementen  
(8, 9) die bei einer elektrischen Ansteuerung jeweils  
5 eine Längenänderung erfahren, und die über eine Wirkver-  
bindung mit einer Stelleinrichtung (6) verbunden sind,  
und mit einem die Aktorelemente (8, 9) umgebenden Aktor-  
gehäuse (4) das jeweils form- und/oder kraftschlüssig  
mit den Aktorelementen (8, 9) verbunden ist,  
10 dadurch gekennzeichnet, dass  
eine vektorielle Summe der Massenimpulse der wenigstens  
zwei Aktorelemente (8, 9) zu jedem Zeitpunkt näherungs-  
weise gleich Null ist.
- 15 2. Aktoreinheit nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
ein erstes (8) und ein zweites Aktorelement (9) jeweils  
mit sich schneidenden Längsachsen (81 bzw. 91) im We-  
sentlichen gegenüberliegend angeordnet sind.
- 20 3. Aktoreinheit nach Anspruch 1 oder 2,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
eine vektorielle Summe der Längsbewegungen der wenig-  
stens zwei Aktorelemente (8, 9) zu jedem Zeitpunkt nähe-  
rungsweise gleich Null ist.
- 25 4. Aktoreinheit nach einem der Ansprüche 1 bis 3,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
ein erstes (8) und ein zweites Aktorelement (9) jeweils  
30 mit deckungsgleichen Längsachsen (81 bzw. 91) gegenüber-  
liegend angeordnet sind.
5. Aktoreinheit nach einem der Ansprüche 1 bis 4,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
35 jeweils eine erste bzw. eine zweite Stirnseite (82 bzw.  
92) des ersten bzw. zweiten Aktorelements (8 bzw. 9) im  
Aktorgehäuse (4) abgestützt ist und dass jeweils eine

dritte bzw. vierte Stirnseite (93) der Aktorelemente (8, 9) auf ein Übertragungsmedium (101) einwirkt.

6. Aktoreinheit nach Anspruch 5,  
5 dadurch gekennzeichnet, dass  
das Übertragungsmedium (101) Teil eines Übersetzers ist  
und auf die Stelleinrichtung (6) einwirkt.

7. Aktoreinheit nach Anspruch 5 oder 6,  
10 dadurch gekennzeichnet, dass  
das Übertragungsmedium (101) Teil eines hydraulischen Übersetzers (10) ist und auf die Stelleinrichtung (6) einwirkt.

15 8. Aktoreinheit nach einem der Ansprüche 5 bis 7,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
die Richtung der axialen Bewegungen des ersten und zweiten Aktorelements jeweils im Wesentlichen senkrecht zur Bewegungsrichtung der Stellrichtung (6) orientiert ist.

20 9. Aktoreinheit nach einem der vorstehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
jeweils die erste (82) bzw. die zweite Stirnseite (92)  
25 des ersten (8) bzw. zweiten Aktorelements (9) im Aktorgehäuse (4) abgestützt ist und dass die dritte Stirnseite (83) des ersten Aktorelements (8) direkt oder indirekt auf die Stelleinrichtung (6) einwirkt.

30 10. Aktoreinheit nach Anspruch 9,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
die Richtungen der axialen Bewegungen des ersten und zweiten Aktorelements (8, 9) sowie die Bewegungsrichtung (61) der Stelleinrichtung (6) jeweils achsparallel  
35 zueinander orientiert sind.

11. Aktoreinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Aktorelemente (8, 9) jeweils piezoelektrische Aktorelemente sind.
- 5
12. Aktoreinheit nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Aktorelemente (8, 9) jeweils magnetostruktive Aktorelemente sind.
- 10
13. Aktoreinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Aktoreinheit (2) ein Stellantrieb eines Kraftstoff-Einspritzventils ist.
- 15
14. Aktoreinheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Aktorelemente (8, 9) der Aktoreinheit (2) getrennt voneinander und einzeln ansteuerbar sind.

## Zusammenfassung

Aktoreinheit mit wenigstens zwei Aktoreinheiten

- 5 Die Erfindung betrifft eine Aktoreinheit mit zwei Aktorelementen (8, 9), die bei einer elektrischen Ansteuerung jeweils eine Längenänderung erfahren, und die über eine Wirkverbindung mit einer Stelleinrichtung (6) verbunden sind. Ein die Aktorelemente (8, 9), umgebendes Aktorgehäuse (4) ist mit  
10 diesen jeweils form- und/oder kraftschlüssig verbunden. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass eine vektorielle Summe der Massenimpulse der beiden Aktorelemente (8, 9) zu jedem Zeitpunkt näherungsweise gleich Null ist.

15

(Figur 1)

## Bezugszeichenliste

2	Aktoreinheit
4	Aktorgehäuse
6	Stelleinrichtung
61	Bewegungsrichtung (der Stelleinrichtung)
8	erstes Aktorelement
81	erste Längsachse
82	erste Stirnseite
83	dritte Stirnseite
9	zweites Aktorelement
91	zweite Längsachse
92	zweite Stirnseite
93	vierte Stirnseite
10	hydraulischer Übersetzer
101	Übertragungsmedium
12	Injektorgehäuse
14	Hebelübersetzer
15	Hubübertragungsstange
16	Abstützung
17	Ventilpflz
18	elektrische Anschlüsse
20	Verkleidung
22	Stecker
30	erste Schalldruckkurve
32	zweite Schalldruckkurve
40	erste Lautheitskurve
42	zweite Lautheitskurve
44	dritte Lautheitskurve

1/5

FIG 1

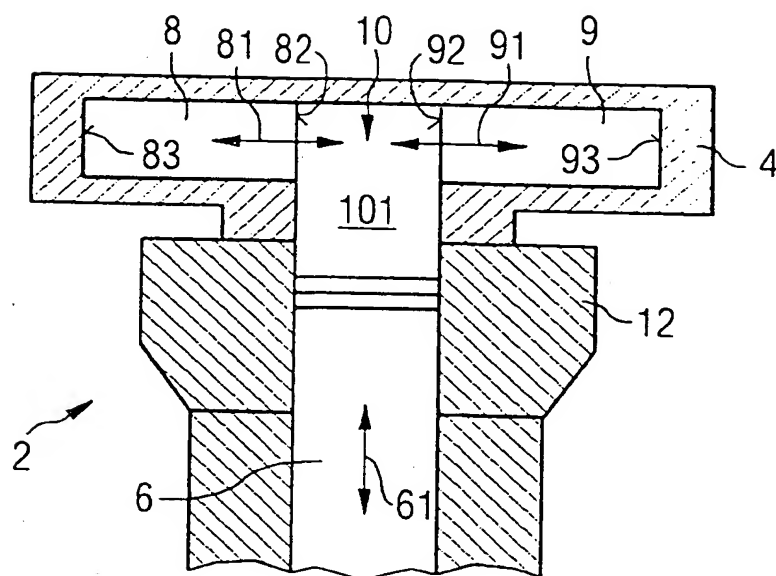


FIG 4

(Stand der Technik)

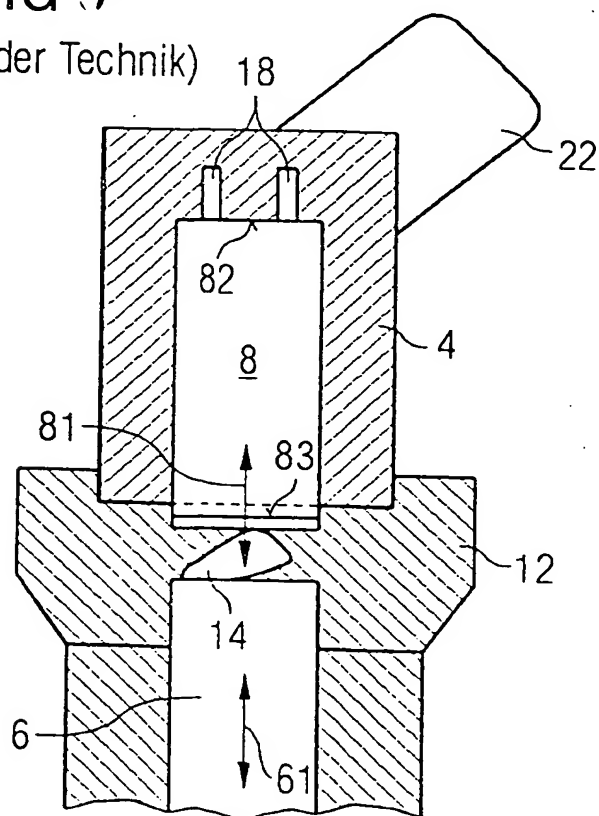




Figure 3:

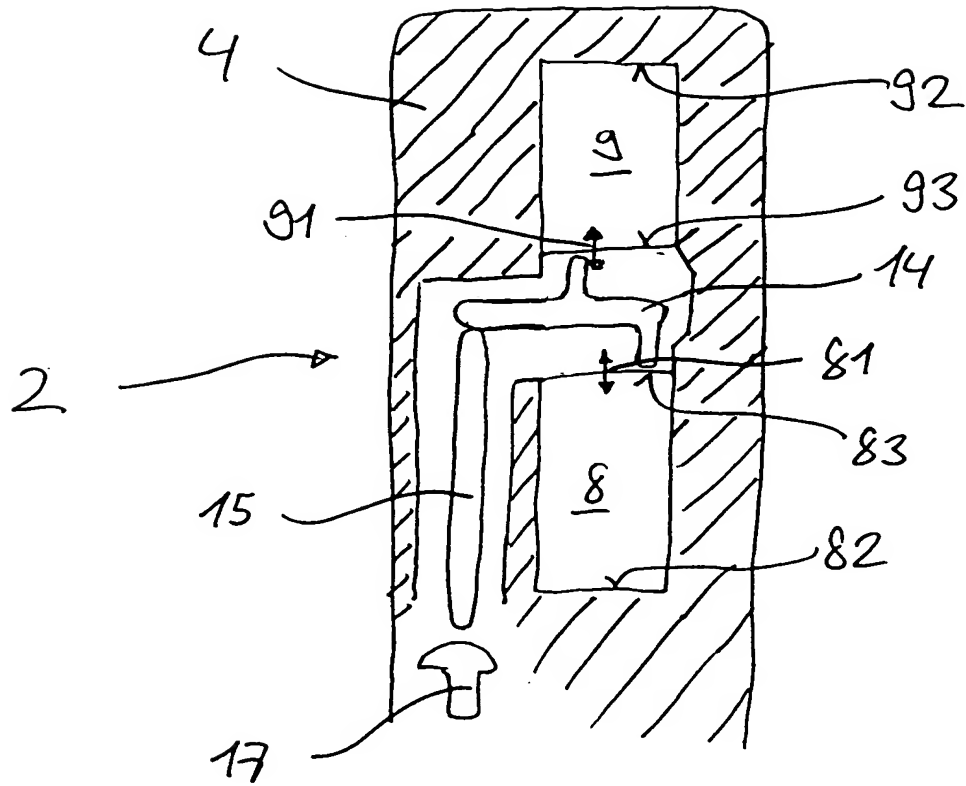
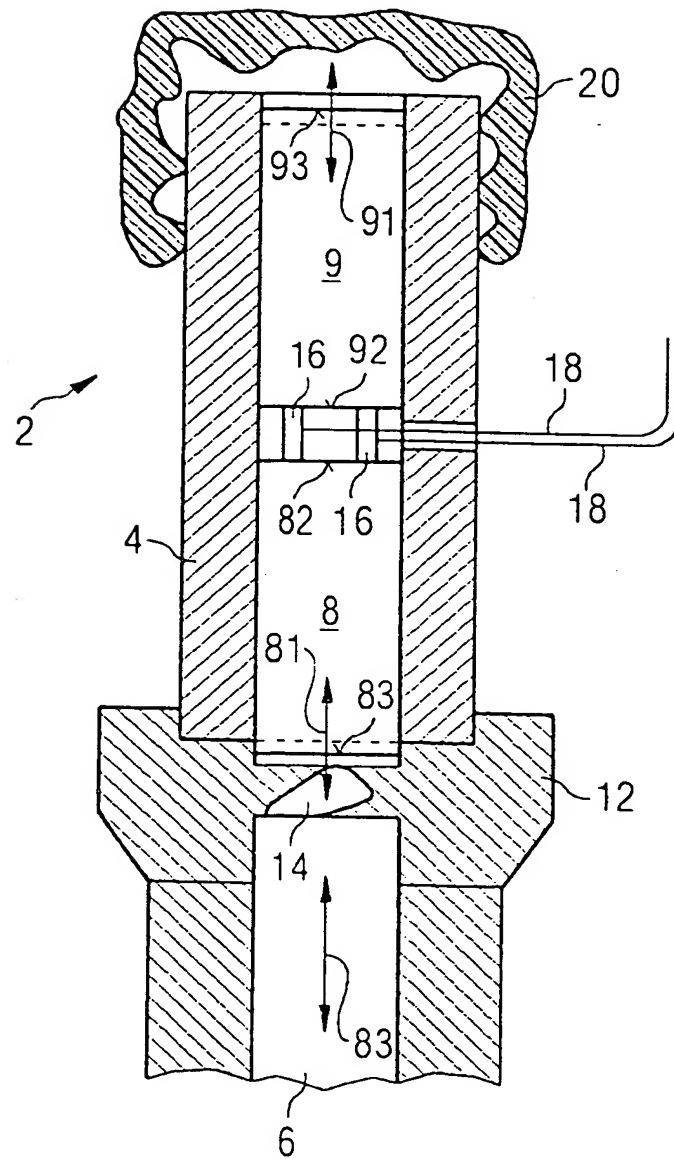
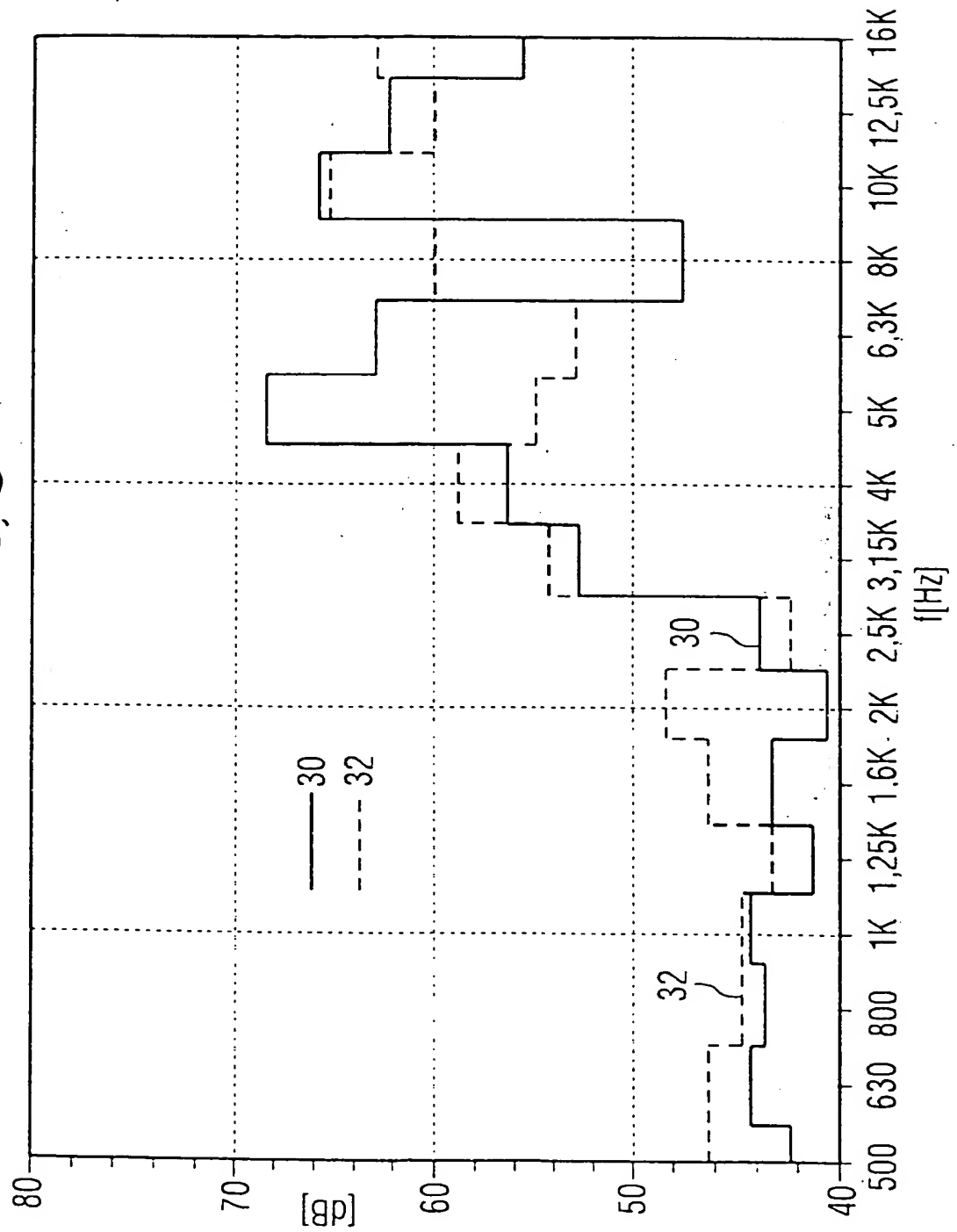


FIG 2



4/5

FIG. 5



5/5

FIG 6

